Filtered Modules と長さ有限 p-進表現について(代数的整数論)

都築, 暢夫

数理解析研究所講究録
第 759 巻 1991 年 58-65

Filtered Modules と長さ有限 p-進表現について

東大理　　都築　暢夫 (Nobuo Tsuzuki)

1. はじめに

混標数 ($0,p$) 局所体の Galois 群の p-進表現の理論は、J.-M.Fontaine によりその概念 (Hodge-Tate 表現、de Rham 表現、crystalline 表現) が正確に定義され、局所体上の多様体の p-進 étale cohomology に対する予想を定式化した[Fo]。これらの予想は最終的に G.Faltings により解決された[Fa1][Fa2]。さらに、絶対不分岐な局所体上の多様体で good reduction の場合には、その上の Filtered Module の圏から p-べき torsion étale 層の圏への充満忠実な関手があり、これは cohomology と可換になる。(局所体の場合は[FL]、一般には[Fa2]。)

ここでは、絶対分岐指数が $p-1$ より小さい局所体の場合に Fontaine-G.Laffaille の理論の一般化をする。局所体の整数環を Witt 環上のアフィン直線へ埋め込みその divided power 包絡環 (以下 P.D.-包絡環) をとり、その上の Frobenius、減少列と接続をもつ加群として Filtered Module を定義する。また、Filtered Module の圏から p-進 Galois 表現の圏への充満忠実関手を構成する。

次のように記号を定める。

K : 剰余体 k が完全体である混標数 $(0,p)$ 完備離散付値体
A : K の整数環
π : K の素元 (一つ固定)
e : K の絶体分岐指数
$W=W(k)$: k-係数 Witt 環
$\overline{K}$: K の代数閉包　　$\overline{A}$: $\overline{K}$ の整数環
$G=Gal(\overline{K}/K)$: K の絶対 Galois 群
$\underline{\mathbf{Rep}}_{\mathbb{Z}_p}(G)$: $\mathbb{Z}_p[G]$-加群の圏

環 R および環準同型 f に対して mod p^n したものを、それぞれ、R_n と f_n とで表す。

2. Filtered Modules

W-環準同型

$$i: W[t] \longrightarrow A \qquad (t \mapsto \pi, \quad t \text{ は変数})$$

を、$Spec\ A$ のアフィン直線への埋め込み、σ を $W[t]$ 上の Frobeniusu ($\sigma: t \mapsto t^p, W$ 上は通常の Frobenius) とする。R_n を W_n 上の自然な P.D.-構造と可換な i_n に対する P.D.-包絡環とする。すなわち、$f(t) \in W[t]$

を π の最小多項式とするとき、$W[x] \to W[t]$ $(x \mapsto f(t))$ による係数拡大により

$$R_n = W_n[t] \underset{W_n[x]}{\otimes} W_n\{x\}$$

とあらわせる。ただし、$W_n\{x\}$ は一変数 P.D.-多項式環とする。また、各自然数 m に対して $J_n^{[m]}$ を m 次の P.D.-イデアルとする。このとき、P.D.-構造の性質から σ_n は R_n 上に延びる（P.D.-構造は保たない）。$R_\infty, J_\infty^{[m]}, \sigma_\infty$ を、それぞれ、$R_n, J_n^{[m]}, \sigma_n$ の射影極限とする（$m \leq 0$ のとき $J_\infty^{[m]} = R_\infty$ とする）。R_∞ において p は零因子でなく、各 $m \leq p-1$ に対して $\sigma_\infty(J_\infty^{[m]}) \subset p^m R_\infty$ であることから、

$$\varphi_{R_\infty} = p^{-m}\sigma_\infty : J_\infty^{[m]} \longrightarrow R_\infty \qquad (m \leq p-1)$$

が定義される。

ω^1 を $t=0$ において一位の極をゆるした $Spec\, W[t]$ の微分加群、すなわち、$\omega^1 = W[t]dlog(t)$ とする。このとき、$W[t]$ 上の Frobenius σ により σ-準同型

$$\frac{d\sigma_\infty}{p} : \omega^1 \longrightarrow \omega^1 \qquad adlog(t) \mapsto \sigma_\infty(a)dlog(t)$$

が導かれる。d_{R_∞} を R_∞ 上の自然な微分とすると、$d_{R_\infty}(J_\infty^{[m]}) \subset \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} J_\infty^{[m-1]}$（Griffith transversarity）が成り立ち、$m \leq p-1$ のとき下の図式

$$\begin{array}{ccc}
J_\infty^{[m]} & \xrightarrow{d} & \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} J_\infty^{[m-1]} \\
\varphi_{R_\infty}^m \downarrow & & \downarrow \frac{d\sigma_\infty}{p} \otimes \varphi_{R_\infty}^{m-1} \\
R_\infty & \xrightarrow[d]{} & \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} R_\infty
\end{array}$$

が可換となる。

定義 1.（圏 $\underline{\mathbf{MF}}^\nabla{}_{\mathrm{big}}$ の定義）

$\underline{\mathbf{MF}}^\nabla{}_{\mathrm{big}}$ の対象 $\mathrm{M} = (M, (M^k, \varphi_{\mathrm{M}}^k)_{k \leq p-1}, \nabla_{\mathrm{M}})$ は次の条件 (1)-(5) を満たすものからなる。

(1) M, M^k は p のべきで消える R_∞-加群である。

(2) (M^k) は減少列で、$k \leq 0$ のとき $M^k = M$ となる。

(3) 各 j, k に対して $J_\infty^{[j]} M^k \subset M^{j+k}$ となる。

(4) 各 k に対して $\varphi^k_{\mathrm{M}} : M^k \to M$ は σ_∞-準同型で、次のふたつの図式が可換となる。

$$\begin{array}{ccc} M^k & \xrightarrow{\subset} & M^{k-1} \\ {\scriptstyle \varphi^k_{\mathrm{M}}}\downarrow & & \downarrow{\scriptstyle \varphi^{k-1}_{\mathrm{M}}} \\ M & \xrightarrow[p]{} & M \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} J^{[j]}_\infty \underset{R_\infty}{\otimes} M^k & \xrightarrow{\text{積}} & M^{j+k} \\ {\scriptstyle \varphi^k_{R_\infty}\otimes\varphi^l_{\mathrm{M}}}\downarrow & & \downarrow{\scriptstyle \varphi^{j+k}_{\mathrm{M}}} \\ M & = & M \end{array}$$

(5) $\nabla_{\mathrm{M}} : M \to \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} M$ は W-接続で、Griffith transversarity $\nabla_{\mathrm{M}}(M^k \subset \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} M^{k-1}$ を満たす。また、次の図式

$$\begin{array}{ccc} M^k & \xrightarrow{\nabla_{\mathrm{M}}|_{M^k}} & \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} M^{k-1} \\ {\scriptstyle \varphi^k_{\mathrm{M}}}\downarrow & & \downarrow{\scriptstyle \frac{d\sigma_\infty}{p}\otimes\varphi^{k-1}_{\mathrm{M}}} \\ M & \xrightarrow[\nabla_{\mathrm{M}}]{} & \omega^1 \underset{W[t]}{\otimes} M \end{array}$$

が可換となる。

$\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の射は上の構造と可換な R_∞-準同型とする。

補足 2. $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ は W-線型な加法圏となる。後に Hom や Ext を考える都合上 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ を含むアーベル圏 $\underline{\mathfrak{MF}}^{\nabla}_{\mathrm{big}}$ が必要になるが、ここではその定義を省く。(減少列のところを、単に列にする。)

$\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の対象 M に対して R_∞-加群 $\tilde{\mathrm{M}}$ を次のように定める。

$$\tilde{\mathrm{M}} = (\underset{k\le p-1}{\oplus} R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^k)/T$$

ここで $R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes}$ は Frobenius $\sigma_\infty : R_\infty \to R_\infty$ による係数拡大を表し、T は下の (ア) および (イ) なる形の元により生成される $\underset{k\le p-1}{\oplus} R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^k$ の R_∞-部分加群である。

(ア) $(1\otimes x) \oplus ((-p)\otimes x) \in R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^{k-1} \oplus R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^k \quad (x \in M^k)$

(イ) $(\varphi^j_{R_\infty}(a)\otimes x) \oplus ((-1)\otimes ax) \in R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^k \oplus R_\infty \underset{\sigma_\infty}{\otimes} M^{j+k}$

$(a \in J^{[j]}_\infty, \quad x \in M^k)$

定義1.4により $\underset{k\le p-1}{\oplus}\varphi_{\mathrm{M}}^{k}$ から R_∞-準同型

$$\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}}:\tilde{\mathrm{M}}\longrightarrow \mathrm{M}$$

が導かれる。これも M の Frobenius と呼ぶことにする。

R_∞-加群 $\tilde{\mathrm{M}}$ に対して W-接続 $\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}:\tilde{\mathrm{M}}\to\omega^1\underset{W[t]}{\otimes}\tilde{\mathrm{M}}$ を次のように定める。

$$a\otimes x\in R_\infty\underset{\sigma_\infty}{\otimes}M^k$$
$$\mapsto (a(\frac{d\sigma_\infty}{p}\otimes id_{\mathrm{M}^{k-1}})\circ\nabla_{\mathrm{M}}(x))\oplus(da\otimes x)\in\omega^1\underset{\sigma_\infty}{\otimes}M^{k-1}\oplus\omega^1\underset{\sigma_\infty}{\otimes}M^k$$

定義1.5により $\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}$ は W-接続となり、$\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}$ と ∇_{M} とは $\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}}$ に関して平行、すなわち $\nabla_{\mathrm{M}}\circ\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}}=(id_{\omega^1}\otimes\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}})\circ\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}$ となる。

上で定めた $\mathrm{M}\mapsto\tilde{\mathrm{M}}$ は圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ から R_∞-加群の圏への関手を定めて、Frobenius $\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}}$ と W-接続 $\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}$ とはその定義より $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の射と可換になる。さらに、上の関手は注意2のアーベル圏 $\underline{\mathfrak{MF}}^{\nabla}_{\mathrm{big}}$ から R_∞-加群の圏への右完全関手に延びる。

定義 3. 以下の条件 (1)-(3) を満たす圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の対象 M を *Filtered Module* と呼び、それらからなる充満部分圏を $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}$ とする。

(1) M は R_∞-加群として有限個の R_∞/p^nR_∞ の直和（n はいろいろ）である。

(2) *Frobenius* $\tilde{\varphi}_{\mathrm{M}}:\tilde{\mathrm{M}}\to M$ は同型である。

(3) 各自然数 n と各元 $x\in M^{k-1}$ に対して $\varphi_{\mathrm{M}}^{k-1}(p^nx)\in p^{n+1}M$ ならば $p^n\in p^nM^k+p^nM^{k-1}$ である。

補足 4. (1) $\tilde{\nabla}_{\mathrm{M}}$ のべき零性により $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}$ の対象 M は *Spec A* 上の対数型の極つき *crystal* とみなせる。[K1]

(2) 圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}$ は標準的な同型をのぞいて K の素元 π のとり方によらない。

定義 5. d を $0\le d\le p-1$ を満たす自然数とする。*Filtered Module* M が レベル$[0,d]$ とは、各 k に対して $M^k=\sum_{j=0}^{d}J_\infty^{[k-j]}M^j$ を満たすことをいう。レベル$[0,d]$ なる *Filtered Module* の圏を $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ で表す。

次の補題が重要である。

補題 6. $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の対象 M が次の条件

(1) M は R_∞/pR_∞-加群として有限生成かつ自由である。

(2) R_∞/pR_∞-準同型 $\widetilde{\varphi}_{\mathrm{M}}:\widetilde{\mathrm{M}}\to M$ は全射である。
(3) 各元 $x\in M^{k-1}$ が $\varphi_{\mathrm{M}}^{k-1}(x)=0$ を満たせば $x\in M^k$ となる。
を満たせば、M は *Filtered Module* になる。
このとき、M の元 $e_1,\cdots,e_r$ $(r=\mathrm{rank}M)$ と整数 $i_1,\cdots,i_r$ $(0\le i_n<e(p-1))$ が存在して、α_n, β_n を

$$i_n=\alpha_n e-\beta_n \qquad (0\le\beta_n<e)$$

で定めると、

$$M=\bigotimes_{n=1}^{r}(R_\infty/pR_\infty)e_n$$
$$M^k=\bigotimes_{n=1}^{r}((t^{\beta_n}J_\infty^{[k-\alpha_n]}+J_\infty^{[k-\alpha_n+1]})/p)e_n$$

となり、$\varphi_{\mathrm{M}}^{\alpha_n}(t^{\beta_n}e_n)=\sum a_{mn}e_m$ で (a_{mn}) を定めると、行列 (a_{mn}) は可逆となる。

証明: M/M^1 は有限生成 $A_1=R_1/J_1^{[1]}$-加群より、

$$M/M^1\cong\bigoplus_{n=1}^{r_1}(A/\pi^{e-i_n}A)\overline{e}_n \qquad i_1\le\cdots\le i_{r_1}$$

とする。ただし、$e_1,\cdots,e_{r_1}$ は生成元の M への持ち上げとする。定義 1.3 および条件（3）により、$M/(M^2+R_1e_1+\cdots+R_1e_{r_1})$ は $A_1=R_1/J_1^{[1]}$-加群となり、

$$M/(M^2+R_1e_1+\cdots+R_1e_{r_1})\cong\bigoplus_{n=r_1+1}^{r_2}(A/\pi^{2e-i_n}A)\overline{e}_n$$
$$i_{r_1+1}\le\cdots\le i_{r_2}$$

とする。以下帰納的に $e_n, i_n=\alpha_n e-\beta_n$ $(1\le n\le r,\ 0\le\beta_n<e)$ を定める。条件（3）より $\widetilde{\mathrm{M}}$ は $t^{\beta_1}e_1,\cdots,t^{\beta_r}e_r$ で生成されるから、$\widetilde{\varphi}_{\mathrm{M}}$ は同型になる。 ∎

命題 7. $\underline{\mathfrak{MF}}_{\mathrm{big}}^{\nabla}$ の完全列

$$0\longrightarrow \mathrm{M}'\longrightarrow \mathrm{M}\longrightarrow \mathrm{M}''\longrightarrow 0$$

に対して、M, M′, M″ のいずれか二者が *Filtered Module* ならば残りの一つも *Filtered Module* である。

証明: $p^nM=0$ なる n に関する帰納法による。$n=1$ のときは補題 6 から示される。 ∎

定理 8. $de < p-1$ のとき圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ はアーベル圏である。

証明は、剰余体 k が代数閉体の場合に帰着できる。

剰余体 k が代数閉体のとき、$\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}$ の基本対象を次のように定める。各周期写像

$$i : \mathbb{Z} \to \{0, 1, \cdots, e(p-1)\} \qquad modulo\ h \qquad (n \to i_n)$$

に対して $\alpha^i_n, \beta^i_n, q^i_n$ および Filtered Module $\mathrm{M} = \mathrm{M}(i)$ を下のように定義する。

$$i_n = \alpha^i_n e - \beta^i_n \quad (0 \le \beta^i_n < e);$$

$$q^i_n = (\sum_{m=0}^{h-1} i_{m+n+1} p^m)/(p^h - 1);$$

$$\mathrm{M} = \begin{cases} M = \bigoplus_{n=0}^{h-1} (R_\infty/p)e_n & \{e_n\} \text{ は } M \text{ の標準基底とする。} \\ M^k = \bigoplus_{n=0}^{h-1} ((t^{\beta^i_n} J_\infty^{[k-\alpha^i_n]} + J_\infty^{[k-\alpha^i_n+1]})/p)e_n & \\ \varphi_{\mathrm{M}}^{\alpha^i_n}(t^{\beta^i_n} e_n) = e_{n-1} & \\ \nabla_{\mathrm{M}}(e_n) = 0. & \end{cases}$$

$\mathbb{F}_{p^h} \subset \overline{k} \subset R_\infty/pR_\infty$ より、各基本対象 $\mathrm{M} = \mathrm{M}(i)$ に対して環準同型

$$\nu : \mathbb{F}_{p^h} \longrightarrow \mathrm{End}_{\underline{\mathrm{MF}}^\nabla}(\mathrm{M}) \qquad a \mapsto \nu_a$$

が $\nu(e_n) = a^{p^{-n}} e_n$ により定義できる。明らかにこれは単射である。

補題 9. $\mathrm{M} = \mathrm{M}(i), \mathrm{M}' = \mathrm{M}(i')$ を $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}$ の基本対象で、i, i' の値はともに $p-1$ より小さいとする。

(1) $\mathrm{Hom}_{\underline{\mathrm{MF}}^\nabla}(\mathrm{M}, \mathrm{M}') \neq 0$ となる必要十分条件は、ある整数 l が存在して各整数 n に対して $q^i_n - q^{i'}_{n+l}$ が非負整数となることである。

(2) i の周期がちょうど h のとき、単射 ν は同型になる。

補題 10. $de < p-1$ とする。このとき、$\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ の対象 M に対して M の部分対象である基本対象 $\mathrm{M}(i)$（i の値は de 以下）が存在する。

証明のポイントは、$\sigma_\infty(t)M = t^p M \subset M^{d+1}$ および補題 6 における Filtered Module の構造である。

命題 7、補題 9、10 から定理 8 が示される。特に、k が代数閉体のとき圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ はアルティン圏となり、その単純対象は基本対象である。

3. 表現の構成

$f: Spec\,\overline{A} \to Spec\,A$ を構造射とする。対数型の極つき crystal の理論より、$f_{n*}O_{crys}$ (O_{crys} は $Spec\,\overline{A}_n$ 上の対数型の極つき crystalline site に付随する topos の構造層とする。) は $Spec\,A_n$ 上の準連接平坦 crystal となる[K2]。crystal の理論から、$f_{n*}O_{crys}$ は自然に接続をもつ R_n-P.D.-多元環 P_n とみなせて[K1]、その P.D.-構造により減少列が定まる。また、crystalline cohomology の関手性より Frobenius および、上にあげた諸構造と可換な Galois 群 G の作用が定まる。これより、P_n は圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の対象とみなせる。P_n の射影極限を P_∞ とかくと、$P_\infty \otimes \mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p$ も圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ の対象とみなせる。

Filtered Module の圏から p-進表現の圏への反変関手を

$$\begin{array}{cccc} \mathbb{D}: & \underline{\mathbf{MF}}^{\nabla} & \longrightarrow & \underline{\mathbf{Rep}}_{\mathbb{Z}_p}(G) \\ & \mathrm{M} & \longmapsto & \mathbb{D}(\mathrm{M}) = \mathrm{Hom}_{\underline{\mathfrak{MF}}^{\nabla}_{\mathrm{big}}}(\mathrm{M}, P_\infty \otimes \mathbb{Q}_p/\mathbb{Z}_p) \end{array}$$

と定める。ここで、$\underline{\mathfrak{MF}}^{\nabla}_{\mathrm{big}}$ は補足 2 における $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}{}_{\mathrm{big}}$ を含むアーベル圏で、$\mathbb{D}(\mathrm{M})$ への G は P_∞ をとうして作用する。

定理 11. レベルが $[0,d]$ である *Filtered Module* M に対して、$R_\infty \underset{\mathbb{Z}_p}{\otimes} \mathbb{D}(\mathrm{M})$ と M とは R_∞-加群として同型である。(標準的ではない。) また、制限関手 $\mathbb{D}: \underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]} \to \underline{\mathbf{Rep}}_{\mathbb{Z}_p}(G)$ は完全かつ充満忠実である。

証明は、剰余体が代数閉体のときに帰着される。そのとき、圏 $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ はアルティン圏より基本対象の $\mathbb{D}$ による振る舞いをみればよい。

定理 12. 剰余体 k が代数閉体かつ $de < p-1$ とする。周期がちょうど h (h') である周期関数 i (i') の $\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}_{[0,d]}$ の基本対象 $\mathrm{M} = \mathrm{M}(i)$ ($\mathrm{M}' = \mathrm{M}(i')$) に対して以下が成り立つ。

(1) 補題 9.1 の同型 $\nu: \mathbb{F}_{p^h} \to \mathrm{End}_{\underline{\mathbf{MF}}^{\nabla}}(\mathrm{M})$ により $\mathbb{D}(\mathrm{M})$ を $\mathbb{F}_{p^h}$-ベクトル空間とみなしたとき、

$$\dim_{\mathbb{F}_{p^h}} \mathbb{D}(\mathrm{M}) = 1$$

である。

(2) χ_h をレベル h の基本指標とする。すなわち、$g \in G$ に対して $g(\pi^{p^{-h}}) = \chi_h(g)\pi^{p^{-h}}$ で定められる。このとき、$\mathbb{D}(\mathrm{M})$ への G の作用は

$$\chi_h^{i_0 + i_1 p + \cdots + i_{h-1} p^{h-1}} : G \to \mathbb{F}_{p^h}^{\times}$$

により与えられる。

(3) $\mathrm{Ext}^1_{\underline{\mathfrak{M}\mathfrak{F}^\nabla}_{\mathrm{big}}}(\mathrm{M}, P_1) = 0$

(4) 自然な変換

$$\mathrm{Ext}^1_{\underline{\mathbf{MF}}^\nabla}(\mathrm{M}, \mathrm{M}') \longrightarrow \mathrm{Ext}^1_{\underline{\mathbf{Rep}_{\mathbb{Z}_p}}(G)}(\mathbb{D}(\mathrm{M}'), \mathbb{D}(\mathrm{M}))$$

は単射になる。

証明は具体的な計算によるが、かなり面倒である。

補足 13. 定理 12 は J.-P.Serre の予想[S]

X を K 上の非特異完備な代数多様体で A 上 good reduction とする。$de < p-1$ ならば、d 次 étale homology 群 $H_d(X \underset{K}{\otimes} \overline{K}, \mathbb{Z}/p\mathbb{Z})$ への K の惰性群の各単純部分商への作用は下のかたちで与えられる。

$$\chi_h^{i_0+i_1p+\cdots+i_{h-1}p^{h-1}} \qquad (0 \leq i_n < e)$$

と適合する。

参考文献

[BO] Berthelot,P.,Ogus,A., "Notes on crystalline cohomology," Princeton University Press, 1978.

[Fa1] Faltings,G., *p-adic Hodge Theory*, J. Am. Math. Soc. **1** (1988), 255–299.

[Fa2] Faltings,G., *Crystalline cohomology and p-adic Galois representations*, Algebraic and Analysis, Geometry and Number Theory (1990), 25–80, Johns Hopkins University Press.

[Fo] Fontaine,J.-M., *Sur certains types de représentations p-adiques du groupe de Galois d'un corps local, construction d'un anneaux Barsotti-Tate*, Ann. of Math **115** (1983), 529–577.

[FL] Fontaine,J.-M., Laffaille,G., *Construction de représentations p-adiques*, Ann.Sci.Ec.Norm.Sup. **15** (1982), 547–608.

[HK] 兵頭 治, 加藤 和也, *Semistable reduction and crystalline cohomology with logarithmic poles*, preprint.

[K1] 加藤 和也, *Logarithmic structures of Fontaine-Illusie*, Algebraic and Analysis, Geometry and Number Theory (1990), 191–224, Johns Hopkins University Press.

[K2] 加藤 和也, *Semi-stable reduction and p-adic etale cohomology*, preprint.

[S] Serre,J.-P., *Propriétés galoisiennes des points d'ordre fini des courbes elliptiques*, Invent.Math. **15** (1972), 259–331.